

УДК 621.313.323

ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБРИДНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

Е.Е. Суворкова, Ю.Н. Дементьев, Л.К. Бурулько

Томский политехнический университет

E-mail: Suvorkova_elena@mail.ru

Представлены результаты исследования магнитных полей и распределения магнитной индукции в воздушном зазоре синхронно-реактивной и магнитоэлектрической части синхронного гибридного двигателя. Приведены результаты анализа влияния магнитных полей на электромагнитный момент и угловые характеристики синхронного гибридного двигателя.

Ключевые слова:

Синхронная машина, моделирование, электромагнитное поле, электромагнитная индукция, угол поворота.

Key words:

Synchronous machine, modeling, electromagnetic field, electromagnetic induction, shift angle.

В настоящее время идет интенсивное развитие всех компонентов электропривода: электрических двигателей, силовых полупроводниковых приборов и преобразователей на их основе, микропроцессорных средств управления.

Одним из основных направлений в развитии электрических двигателей является расширение парка электродвигателей специализированных исполнений и модификаций, объектно-ориентированных для конкурентных условий применения [1].

Анализируя перспективы развития электродвигателей в этом направлении, можно отметить использование нетрадиционных электродвигателей, таких как синхронный гибридный двигатель (СГД). Принцип работы и регулировочные возможности СГД удачно сочетаются с требованиями, предъявляемыми со стороны высокоточных станков и технологических узлов машин по производству искусственных волокон [2].

Построение электропривода, обоснование и выбор способов регулирования определяются основными характеристиками электродвигателя. Поэтому целью настоящей работы является анализ магнитных полей в воздушном зазоре СГД и определение базовых составляющих электромагнитного момента, формирующих его регулировочные и механические характеристики.

Под синхронным гибридным двигателем понимают двигатель, статор которого выполнен как у серийного асинхронного двигателя, а ротор состоит из двух частей. Основная часть выполнена в виде явнополюсного ротора без обмотки возбуждения как у синхронного реактивного двигателя и составляет 70 % активной длины магнитопровода ротора [3], а вторая часть имеет постоянные магниты, встроенные в межполюсные промежутки ротора, и ее длина составляет 30 % активной длины магнитопровода ротора [2]. Такое конструктивное исполнение СГД позволяет объединить в себе положительные свойства синхронных реактивных и магнитоэлектрических машин с постоянными магнитами.

Магнитный поток в основной части СГД создается реактивным током обмотки статора. Вращающийся момент возникает из-за различия магнитных

проводимостей по продольной и поперечной осям [4] и определяется по следующему выражению (1):

$$M_p = \frac{1}{2} I^2 (x_{dp} - x_{qp}) \sin 2\beta = M_d - M_q, \quad (1)$$

где β – угол между намагничивающей силой обмотки статора и осью полюса ротора; $x_{dp} = \omega L_{dp}$, $x_{qp} = \omega L_{qp}$ – индуктивные сопротивления по продольной и поперечной осям синхронной реактивной части СГД.

Таким образом, момент вращения синхронной реактивной части СГД имеет две составляющие: момент M_d – составляющая, возникающая за счет магнитного потока по продольной оси; момент M_q – составляющая, обусловленная магнитным потоком по поперечной оси.

Момент магнитоэлектрической части с постоянными магнитами СГД создается за счет взаимодействия вращающегося магнитного поля статора с магнитным полем встроенных магнитов и различия магнитных проводимостей по продольной и поперечной осям [5].

При этом можно считать, что составляющая вращающего момента, определяемая наличием встроенных магнитов, есть результат взаимодействия суммарного потока в воздушном зазоре СГД с током обмотки статора. Суммарный поток магнитоэлектрической части с постоянными магнитами можно представить в виде векторного (геометрического) сложения потоков, созданного токами обмотки статора Φ_1 и потоком Φ_m встроенных магнитов и определить по выражению (2):

$$\Phi_\Sigma = \sqrt{\Phi_1^2 + \Phi_m^2 + 2\Phi_1 \cdot \Phi_m \cos \theta}, \quad (2)$$

где θ – угол между векторами потоков в воздушном зазоре магнитоэлектрической части СГД.

Составляющую вращающего момента M_Σ от суммарного потока можно определить через энергию магнитного поля в рабочем зазоре магнитоэлектрической части с постоянными магнитами СГД по следующему выражению (3):

$$M_\Sigma = \frac{dW_\Sigma}{d\theta} = \frac{p_{\Pi} \Phi_1 \Phi_m}{\mu_0} \sin(\theta), \quad (3)$$

где M_{Σ} – суммарная энергия магнитного поля в рабочем зазоре; p_{Π} – число пар полюсов; μ_0 – магнитная проницаемость воздуха.

Таким образом, выражение для определения вращающего момента магнитоэлектрической части с постоянными магнитами СГД можно представить в следующем виде (4):

$$M_m = M_{\Sigma} + M_{ds} + M_{qs}, \quad (4)$$

где $M_{ds} = \frac{1}{2} I^2 x_{ds} \sin 2\theta$ – момент, возникающий за счет магнитного потока по продольной оси магнитоэлектрической части с постоянными магнитами СГД, $M_{qs} = \frac{1}{2} I^2 x_{qs} \sin 2\theta$ – момент, возникающий за счет магнитного потока по поперечной оси магнитоэлектрической части с постоянными магнитами СГД.

Тогда общее выражение для определения электромагнитного момента СГД определяется по выражению (5):

$$M = \frac{1}{2} I^2 (x_{dp} - x_{qp}) \sin 2\beta + \frac{p_{\Pi} \Phi_1 \Phi_m}{\mu_0} \sin(\theta) + M_{ds} + M_{qs}. \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что для определения электромагнитного момента необходимо знать:

- действующее значение тока обмотки статора I ;
- значения индуктивных параметров как в синхронной реактивной, так и в магнитоэлектрической части с постоянными магнитами СГД;
- значения потоков Φ_1 , Φ_m и углов β , θ .

При разработке модели распределения магнитного поля в воздушном зазоре СГД в программе Elcut в основу были положены конструктивные особенности его исполнения: синхронная реактивная часть представляет собой усовершенствованный синхронно-реактивный двигатель (СРД), а магнитоэлектрическая – простой СРД, в большие пазы ротора которого помещены постоянные магниты марки КС-37А [2, 3].

На рис. 1 и 2 представлены распределения магнитного поля в синхронной реактивной и магнитоэлектрической части СГД.

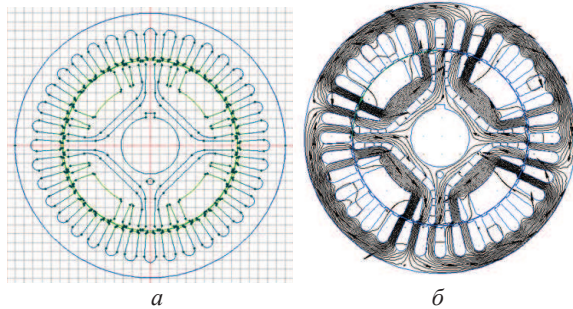


Рис. 1. Распределение магнитного поля в синхронной реактивной части СГД: а) поперечный разрез синхронной реактивной части; б) распределение линий магнитной индукции

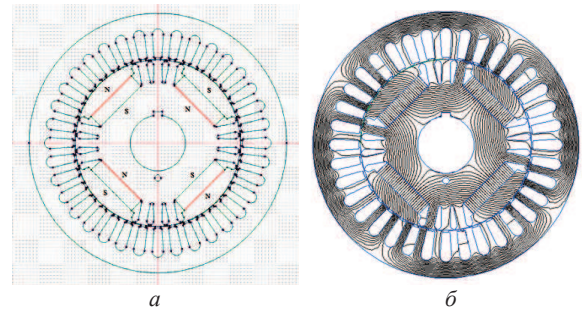


Рис. 2. Распределение магнитного поля в магнитоэлектрической части СГД: а) поперечный разрез магнитоэлектрической части СГД и расположение магнитов в магнитопроводе ротора; б) распределение линий магнитной индукции

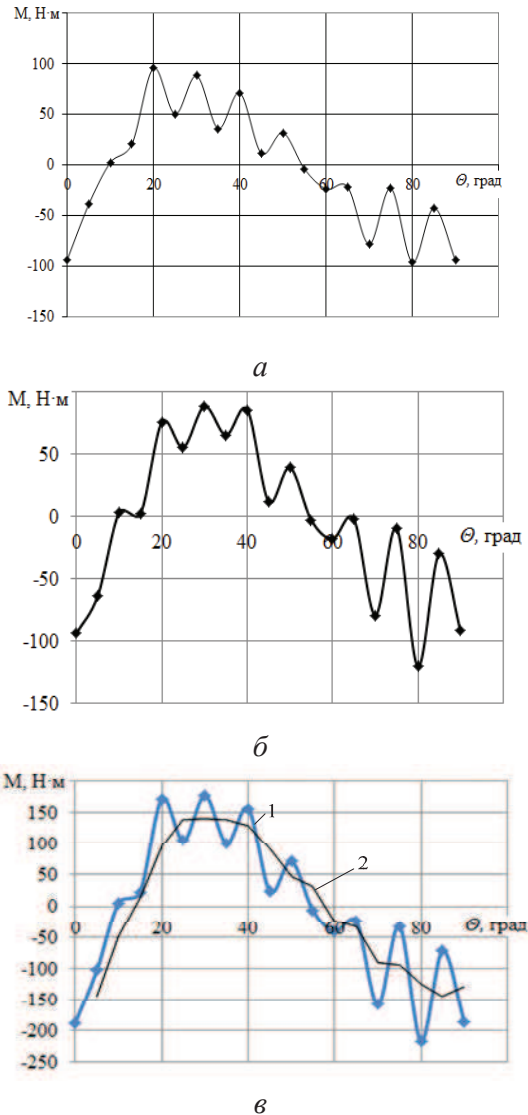


Рис. 3. Расчетные зависимости электромагнитного момента и его составляющих от угла поворота ротора: а) электромагнитный момент в магнитоэлектрической части с постоянными магнитами; б) электромагнитный момент в синхронно-реактивной части; в) результирующий момент СГД (1 – кривая, построенная по результатам моделирования, 2 – кривая, полученная при помощи аппроксимации кривой 1)

Результаты проведенных исследований показали, что наличие результирующего магнитного потока в магнитоэлектрической части с постоянными магнитами подтверждается плотностью магнитных силовых линий (рис. 2, б), обеспечивающих максимальную индукцию в воздушном зазоре и дополнительный пусковой момент СГД.

Кроме того, анализ распределения магнитных полей в воздушных зазорах синхронной реактивной и магнитоэлектрической части с постоянными магнитами СГД показывает, что наличие магнитов способствует концентрации силовых линий магнитного поля в воздушном зазоре СГД и обеспечивает дополнительный электромагнитный момент при его пуске.

С помощью программы Elcut по выражению (5) определены значения суммарного электромагнитного момента и его составляющих в зависимости от угла между векторами потоков в воздушном зазоре СГД. Расчетные характеристики электромаг-

нитного момента и его составляющих приведены на рис. 3.

Из графиков, приведенных на рис. 3, следует, что суммарный электромагнитный момент синхронного гибридного двигателя имеет максимум, который зависит от расположения магнитов в роторе СГД.

Выводы

1. Распределение магнитной индукции с максимальной плотностью силовых линий в воздушном зазоре магнитоэлектрической части с постоянными магнитами и синхронно-реактивной части обеспечивает дополнительный пусковой момент СГД.
2. Характеристика пускового момента СГД имеет явно выраженный максимум, зависящий от свойств магнитов и их расположения.

Статья подготовлена по результатам работ в рамках Госзадания 7.2826.2011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников И.Е. Электромеханические и мехатронные системы. Ч. I: Полупроводниковые устройства в цепях электрических машин. Коллекторные и бесконтактные двигатели постоянного тока. Конструкции, характеристики, регулирование, динамика разомкнутых систем. – СПб.: Изд-во «Корона Век», 2012. – 400 с.
2. Големгрейн В.В. Динамические режимы работы синхронного гибридного двигателя: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2002. – 20 с.
3. Кононенко Е.В. Синхронные реактивные машины: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Томск, 1967. – 48 с.
4. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
5. Загорский А.Е. Электродвигатели переменной частоты. – М.: Энергия, 1975. – 152 с.

Поступила 10.01.2013 г.